

19 BUNDESREPUBLIK  
DEUTSCHLAND



DEUTSCHES  
PATENTAMT

12 Offenlegungsschrift  
10 DE 196 15 069 A 1

21 Aktenzeichen: 196 15 069.8  
22 Anmeldetag: 17. 4. 96  
43 Offenlegungstag: 23. 10. 97

51 Int. Cl.<sup>8</sup>:  
B 25 J 9/00  
B 23 Q 15/02  
B 25 J 9/22  
B 23 K 26/08  
B 25 J 13/08

DE 196 15 069 A 1

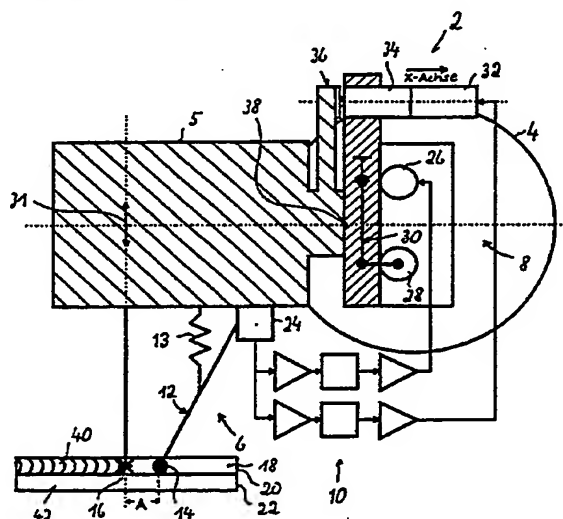
71 Anmelder:  
Laser Zentrum Hannover eV, 30419 Hannover, DE  
74 Vertreter:  
Leine und Kollegen, 30163 Hannover

72 Erfinder:  
Schumacher, Jörg, 30453 Hannover, DE; Ostendorf,  
Andreas, 30827 Garbsen, DE

Prüfungsantrag gem. § 44 PatG ist gestellt

54 Verfahren und Vorrichtung zum Nachführen von Werkzeugen mittels Kantenverfolgung

57 Die Erfindung betrifft ein Verfahren und eine Vorrichtung zum Nachführen von Werkzeugen mittels Kantenverfolgung an einem zu bearbeitenden Werkstück, wobei das Werkzeug von einer Handhabungsvorrichtung entlang einer Bearbeitungsbahn bewegt wird. Ein Meßtaster (12) zur Erfassung der Ist-Lage der Kante wird in einem bestimmten Abstand (A) zur Bearbeitungsstelle des Werkzeuges (5), der Bearbeitungsstelle vorlaufend, an der Kante (18) des Werkstückes (42) entlanggeführt. Eine Steuereinrichtung, die mit dem Meßtaster (12) verbunden ist und die Meßdaten des Meßtasters (12) mit den vorgegebenen Daten der Bearbeitungsbahn vergleicht und auswertet, erzeugt Steuersignale. Die Steuersignale werden einer Antriebseinrichtung (26, 28, 30; 32, 34, 36) zugeführt zum Nachführen des Werkzeuges (5) senkrecht (Z-Achse) zur Oberfläche des Werkstückes (42) und/oder quer (Y-Achse) zur Bearbeitungsrichtung des Werkzeuges in Abhängigkeit von der erfaßten Ist-Lage der Kante des Werkstückes (42).



DE 196 15 069 A 1

Die folgenden Angaben sind den vom Anmelder eingereichten Unterlagen entnommen  
BUNDESDRUCKEREI 08. 97 702 043/145

5/26

BEST AVAILABLE COPY

## Beschreibung

Die Erfindung betrifft ein Verfahren zum Nachführen von Werkzeugen mittels Kantenverfolgung gemäß Oberbegriff des Anspruchs 1 sowie eine Vorrichtung zur Durchführung des Verfahrens.

Es ist beispielsweise beim Laserschweißen von Überlappnähten und Kehlnähten in der Automobilindustrie bekannt (W. Weidlich, Laser in der Technik, Laser 93, Springer-Verlag, 1993; E. U. Beske, Untersuchungen zum Schweißen mit ND: YAG-Laserstrahlung, Fortschritt-Berichte VDI, Reihe 2: Fertigungstechnik, VDI-Verlag), den Laserstrahl in einer feststehenden Strahlquelle zu generieren und über einen flexiblen Lichtwellenleiter zu einer Bearbeitungsoptik zu führen. Dadurch ist eine 3D-Materialbearbeitung mit vergleichsweise geringem Aufwand realisierbar. Dabei wird die Bearbeitungsoptik von einem Industrie-Roboter entlang einer programmierten Bahn über die zu verschweißende Naht geführt. Da es sich bei dem Werkstück um ein toleranzbehaftetes Blechformteil handelt und der fokussierte Laserstrahl mit geringen Toleranzen entlang der Kante der zu verschweißenden Blechformteile positioniert werden muß, entstehen Probleme, welche einen Handlungsbedarf im Bereich der Bahnkorrektur hervorrufen.

Bestehende Kantenverfolgungssysteme (K. Bartel, W. Trunzer, Sensor verfolgt die Schweißbahn, Laserpraxis 10/94; D. Schmidt, K. Sichler, E. Nichalak, Robotertechnik: Sensorunterstützte Bahnprogrammierung beim Laserschweißen mit Roboter, Springer-Verlag 92, Nayak, N.; Ray, A.: Intelligent Seam Tracking for Robot Welding; Nitsch, A.: Kaierle, S.: Der Schweißnaht auf der Spur, Roboter 12 (1994) Heft 2) vermessen die Lage der Kante mit optischen Verfahren, wie z. B. Linienprojektion und darauf folgende Bildauswertung. Sie korrigieren dann die Fokuspunktlage, indem der berichtige Versatz der programmierten Vorschubbewegung überlagert wird. Dies führt zu hohem Rechenaufwand innerhalb der Robotersteuerung und damit zu steigenden Kosten bei der Investition der Rechner-Hardware und Rechner-Software. Auch das optische Meßsystem selbst benötigt zur Bildauswertung eine hohe Rechnerleistung und eine regelmäßige Wartung der bildaufnehmenden Komponenten.

Die Aufgabe der vorliegenden Erfindung besteht darin, ein Verfahren und eine Vorrichtung zur Nachführung von Werkzeugen der eingangs genannten Art anzugeben, die einen einfachen Aufbau, eine einfache Bedienbarkeit und eine kostengünstige Herstellung ermöglichen, und mit denen Toleranzen der Werkstückgeometrien auf einfache Weise kompensierbar sind und der Programmieraufwand für das Handhabungsgerät (beispielsweise Roboter) verringert werden kann.

Diese Aufgabe wird durch die Erfindung gemäß Ansprüchen 1 und 3 gelöst.

Vorteilhafte und zweckmäßige Weiterbildungen der Erfindung sind in den Unteransprüchen angegeben.

Durch die Erfindung wird eine zwei- als auch dreidimensionale Kantenverfolgung ermöglicht. Die Position der Kante wird in der Verfahrensbewegung vorlaufend mit einem taktilen Meßtaster aufgenommen und in einer Regelektronik so verarbeitet, daß in Richtung zweier Zusatzachsen die Position des Bearbeitungswerkzeuges nachführbar ist, ohne das Handhabungsgerät zu beeinflussen. Die Nachführung erfolgt dabei mit hoher Geschwindigkeit. Durch die erfindungsgemäße Ausbildung kann der Aufwand zur Programmierung des Handha-

bungsgerätes bei neuen Bearbeitungsgeometrien stark verringert werden, da eine geringe Anzahl von Stützpunkten ausreicht, um den Meßtaster an der Kante entlangzuführen. Weiterhin können Toleranzen der Werkstoffgeometrie auch in der vollautomatisierten Fertigung kompensiert werden. Die Erfindung ermöglicht eine Nachrüstung bekannter Vorrichtungen, wobei eine Modifikation der Handhabungssteuerungen nicht notwendig ist. Weitere Vorteile bestehen im einfachen mechanischen Aufbau der erfindungsgemäßen Vorrichtung, in der einfachen Bedienbarkeit der Vorrichtung und in geringen Herstellungskosten.

Die Erfindung soll nachfolgend anhand eines in der beigefügten Zeichnung dargestellten Ausführungsbeispiels näher erläutert werden.

Es zeigt

Fig. 1 schematisch eine Seitenansicht einer Vorrichtung zum Nachführen von Werkzeugen mittels Kantenverfolgung und

Fig. 2 eine schematische Rückansicht der Vorrichtung nach Fig. 1.

Gleiche Bauteile in den Figuren der Zeichnung sind mit den gleichen Bezugszeichen versehen.

Die Zeichnung zeigt eine Vorrichtung 2 zur Nachführung von Werkzeugen mittels Kantenverfolgung, die aus mehreren Komponenten besteht.

Auf einer Grundplatte 4, welche an einer nicht dargestellten, die Vorrichtung 2 in Vorschubrichtung (X-Achse) verfahrenen Handhabungsvorrichtung, beispielsweise einem Roboter, befestigt ist, sind ein Werkzeug 5 (hier beispielsweise ein Laserbearbeitungskopf), ein sensorischer Teil 6 und ein aktiv korrigierender Teil 8 angeordnet, welche über eine Regeleinrichtung 10 miteinander verbunden sind, welche nicht vom Roboter mitgeführt wird, sondern über Kabel angeschlossen ist.

Der sensorische Teil 6 umfaßt einen Meßtaster 12 als taktilen Sensor mit mechanischem, mittels Feder 13 vorgespanntem Taster 14, welcher schleppend in einem definierten Abstand A zur Bearbeitungsstelle 16 an einer Kante 18 zwischen zwei beispielsweise zu verschweißenden Blechformteilen 20 und 22 vorlaufend entlanggeführt wird, und einen 2 D-Wegaufnehmer 24.

Der aktiv korrigierende Teil 8 umfaßt einen ersten Motor 26 mit Getriebe 28 und Kurbeltrieb 30 zur Linearbewegung des Werkzeuges 5 in Z-Richtung 31 (Z-Achse), um so beispielsweise die Fokusslage eines Laserstrahles zu korrigieren, und einen zweiten Motor 32 mit Getriebe 34 und Kurbeltrieb 36 zur Bewegung des Werkzeuges quer zur Kante 18, also quer zur Bearbeitungsrichtung, wobei die Querbewegung (Y-Achse 38) durch Verkippen des Werkzeuges um die Y-Achse erfolgt, um die Position des Bearbeitungspunktes (beispielsweise des Schweißpunktes) entlang der Kante, beispielsweise der zu verschweißenden Naht zu führen.

Das Werkzeug 5, am dargestellten Beispiel der Laserbearbeitungskopf, ist starr mit dem Meßtaster 12 gekoppelt.

Die Vorrichtung 2 arbeitet wie folgt:

Ein Bearbeitungswerkzeug 5, beispielsweise eine Laserschweißeinrichtung, wird von einer Handhabungsvorrichtung, beispielsweise einem Roboter, entlang einer Bearbeitungsbahn, beispielsweise einer zu verschweißenden Naht 40 eines Werkstückes 42 geführt. Während der Verfahrensbewegung in X-Richtung, beispielsweise durch die Handhabungsvorrichtung, wird der Ist-Verlauf der Kante 18 und damit am dargestellten Beispiel die reale Position der zu schweißenden Naht 40 des Werkstückes 42 vorlaufend mit Hilfe des Meßtasters 12

aufgenommen. Die Meßdaten werden in der Regeleinrichtung 10 mit der vorgegebenen Position der vorprogrammierten Bearbeitungsbahn verglichen und ausgewertet. Die Regeleinrichtung erzeugt Regelsignale, die die beiden Motoren 26 und 32 steuern, welche die Position des Werkzeuges 5 nachführen. Senkrecht zur Oberfläche des Werkstückes 42 erfolgt dabei eine Nachführung der Höhenlage (Z-Achse) des Werkzeuges 5 durch eine Linearbewegung des Werkzeuges; quer zur Bearbeitungsrichtung (Y-Achse) erfolgt eine Nachführung des Werkzeuges durch eine Verkipfung, siehe Pfeil 44 in Fig. 2. Wenn sich die Position des Tasters 14 während des Bearbeitungsprozesses (beispielsweise während des Schweißvorganges) in Z- oder Y-Richtung verändert, führen die beiden Motoren 26 und 32 über die Zusatzachsen in Z- oder Y-Richtung das Werkzeug nach bzw. führen eine entsprechende Korrekturbewegung des Werkzeuges mit hoher Geschwindigkeit durch. Der maximale Verstellbereich der Zusatzachsen (Y- und Z-Achse) wird durch die Kraftübertragung mit einem Kurbeltrieb an der Abgangswelle des jeweiligen Getriebes 28, 34 begrenzt.

Beispielsweise konnten beim Laserstrahlschweißen mit einem Nd:YAG-Laser, der einen Fokusdurchmesser von 0,6 mm aufwies, Kehlnähte mit einer Blechdicke von 1 mm mit einer Geschwindigkeit von 2,5 m/min mit hoher Qualität gefügt werden. Der eingesetzte Roboter als Handhabungsgerät führte dabei eine lineare Verbahrbewegung aus, und der Bearbeitungskopf des Laserschweißgerätes wurde allein durch die Zusatzachsen (Z- und Y-Achse) entlang der gekrümmten Kehlnaht nachgeführt.

#### Patentansprüche

1. Verfahren zum Nachführen von Werkzeugen mittels Kantenverfolgung an einem zu bearbeitenden Werkstück, bei dem das Werkzeug oder das Werkstück entlang einer von einer Handhabungsvorrichtung ausgeführten Bearbeitungsbahn bewegt wird, gekennzeichnet durch folgende Verfahrensschritte:
  - zweiachsige Messung des Verlaufs der Kante an dem zu bearbeitenden Werkstück,
  - Vergleich des gemessenen Verlaufs mit der vorgegebenen Position der Bearbeitungsbahn und
  - Nachführen des Werkzeuges oder Werkstückes in Abhängigkeit vom Vergleichsergebnis.
2. Verfahren nach Anspruch 1, dadurch gekennzeichnet, daß der Verlauf der Kante in zwei voneinander unabhängigen Achsen quer zur Bearbeitungsbahn (Vorschubrichtung der Handhabungsvorrichtung) gemessen wird.
3. Vorrichtung zur Durchführung des Verfahrens nach einem der vorhergehenden Ansprüche, gekennzeichnet durch
  - einen an der Kante (18) des Werkstückes (42) entlanggeführten Meßtaster (12) zur Erfassung der Ist-Lage der Kante und
  - eine Regeleinrichtung (10), die mit dem Meßtaster (12) verbunden ist und die Meßdaten des Meßtasters (12) mit der vorgegebenen Position der von der Handhabungsvorrichtung ausgeführten Bearbeitungsbahn vergleicht und auswertet und Regelsignale erzeugt, die einer Antriebseinrichtung (26, 28, 30; 32, 34, 36) zu-

geführt werden zum Nachführen des Werkzeuges (5) senkrecht (Z-Achse) zur Oberfläche des Werkstückes (42) und/oder quer (Y-Achse) zur Bearbeitungsrichtung des Werkzeuges in Abhängigkeit von der erfaßten Ist-Lage der Kante des Werkstückes (42).

4. Vorrichtung nach Anspruch 3, dadurch gekennzeichnet, daß der Meßtaster (12) einen mechanischen Taster (14) aufweist, welcher in einem bestimmten Abstand (A) zur Bearbeitungsstelle des Werkzeuges (5), der Bearbeitungsstelle vorlaufend angeordnet ist.

5. Vorrichtung nach Anspruch 4, dadurch gekennzeichnet, daß der Taster (14) schleppend oder stehend angeordnet ist.

6. Vorrichtung nach Anspruch 3, dadurch gekennzeichnet, daß die Antriebseinrichtung einen ersten Motor (26) mit Getriebe (28) und Kurbeltrieb (30) zum Nachführen des Werkzeuges (5) senkrecht zur Oberfläche des zu bearbeitenden Werkstückes (42) aufweist.

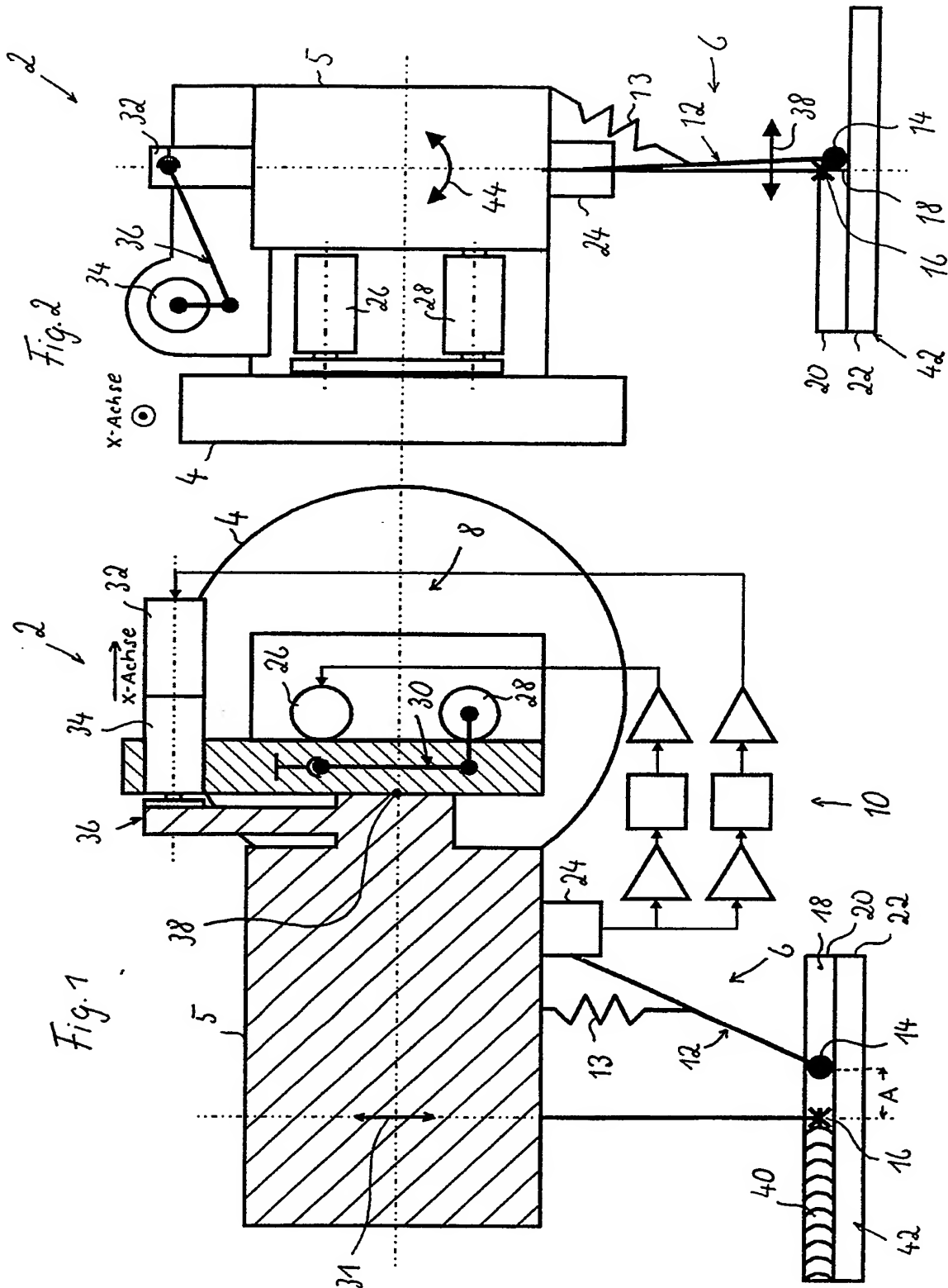
7. Vorrichtung nach Anspruch 3 oder 6, dadurch gekennzeichnet, daß die Antriebseinrichtung einen zweiten Motor (32) mit Getriebe (34) und Kurbeltrieb (36) zum Nachführen des Werkzeuges (5) quer zur Bearbeitungsrichtung des Werkzeuges aufweist.

8. Vorrichtung nach Anspruch 6 oder 7, dadurch gekennzeichnet, daß die Antriebseinrichtung (26, 28, 30; 32, 34, 36) das Werkzeug (5) durch Linear- oder Kippbewegung nachführt.

9. Vorrichtung nach einem der Ansprüche 6 bis 8, dadurch gekennzeichnet, daß der maximale Verstell- bzw. Nachführbereich durch Kraftübertragung mit einem Kurbeltrieb an der Abgangswelle des jeweiligen Getriebes (28, 34) begrenzt ist.

10. Vorrichtung nach einem der Ansprüche 3 bis 9, dadurch gekennzeichnet, daß die Vorrichtung zum Nachführen von der Handhabungsvorrichtung des Werkzeuges getrennt angeordnet ist.

Hierzu 1 Seite(n) Zeichnungen



702 043/145

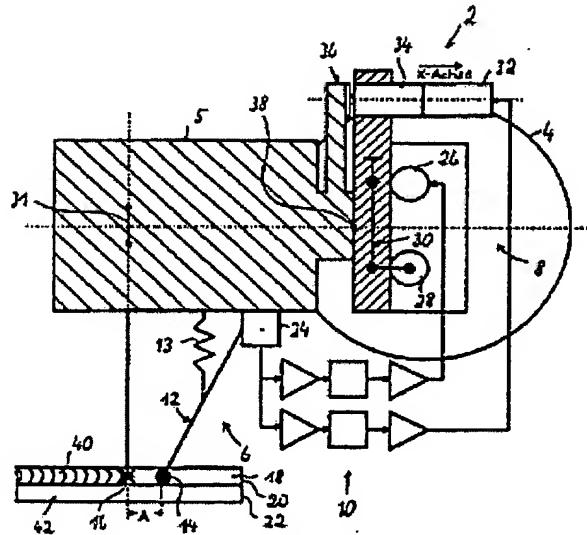
BEST AVAILABLE COPY

### Procedure for panning machine tool esp. laser beam cutter using edge tracking on workpiece

**Patent number:** DE19615069  
**Publication date:** 1997-10-23  
**Inventor:** SCHUMACHER JOERG [DE]; OSTENDORF ANDREAS [DE]  
**Applicant:** HANNOVER LASER ZENTRUM [DE]  
**Classification:**  
- **International:** B25J9/00; B23Q15/02; B25J9/22; B23K26/08; B25J13/08  
- **European:** G05B19/425  
**Application number:** DE19961015069 19960417  
**Priority number(s):** DE19961015069 19960417

## Abstract of DE19615069

A procedure for panning a tool using edge tracking on the workpiece has the tool or the workpiece moved along a machining path by a manipulator. The procedural steps are: two-axis measurement of the course of the edge on the workpiece; comparison of the course with the preset position of the machining path; panning of the tool or workpiece depending on this comparison. The course of the edge is measured in two independent axes transverse to the machining path, or the feed direction of the manipulator. A pressure foot (12) guided along the edge of the workpiece (42) evaluates its actual length. There is a control unit (10) to do the measurement comparison and to generate signals for the tool (5) panning.



Data supplied from the **esp@cenet** database - Worldwide

**BEST AVAILABLE COPY**

(USPTO)

THIS PAGE BLANK (USPTO)